Metalurgia Extractiva del Cobre

Tite Jonathan; Morales Vanesa; Vargas David; Páez Paúl
Departamento de Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Latacunga, Ecuador.

3 de noviembre de 2017

E-mail: ***jdtite@espe.edu.ec; evmorales@espe.edu.ec; jdvargas@espe.edu.ec; cppaez2@espe.edu.ec***

Resumen

La metalurgia del cobre depende de que el mineral se presente en forma de sulfuros o de óxidos. Para los sulfuros se utiliza para producir cátodos la vía llamada pirometalurgia, que consiste en el siguiente proceso: Concentración del mineral ⇒ Fundición en horno ⇒ Paso a convertidores ⇒ Afino ⇒ Moldeo de ánodos ⇒ Electro-refinación ⇒ Cátodos. El proceso de refinado produce unos cátodos con un contenido del 99,9 % de cobre. Los cátodos son unas planchas de un metro cuadrado y un peso de 55 kg.
Otros componentes que se obtienen de este proceso son hierro (Fe) y azufre (S), además de muy pequeñas cantidades de plata (Ag) y oro (Au). Como impurezas del proceso se extraen también plomo (Pb), arsénico (As) y mercurio (Hg).
Como regla general una instalación metalúrgica de cobre que produzca 300,000 t/año de ánodos, consume 1,000,000 t/año de concentrado de cobre y como subproductos produce 900,000 t/año de ácido sulfúrico y 300,000 t/año de escorias.
Cuando se trata de aprovechar los residuos minerales, la pequeña concentración de cobre que hay en ellos se encuentra en forma de óxidos y sulfuros, y para recuperar ese cobre se emplea la tecnología llamada hidrometalurgia. El proceso que sigue esta técnica es el siguiente: Mineral de cobre ⇒ Lixiviación ⇒ Extracción ⇒ Electrólisis ⇒ Cátodo.
Esta tecnología se utiliza muy poco porque la casi totalidad de concentrados de cobre se encuentra formando sulfuros, siendo la producción mundial estimada de recuperación de residuos en torno al 15 % de la totalidad de cobre producido.

Palabras clave: Metalurgia, Extracción, Cobre, Pirometalurgia, Hidrometalurgia.

1. Objetivo

Analizar los procesos de extracción y purificación de los minerales de cobre y la importancia de este metal junto con sus aleaciones para el desarrollo tecnológico de la sociedad.

2. Antecedentes

El uso del cobre se remonta a los orígenes de la civilización hace unos 10,000 años, cuando en algún lugar del mundo el ser humano dejó de depender de las herramientas de piedra y comenzó a usar un metal disponible en la naturaleza, manipulable, dúctil y con una resistencia hasta entonces desconocida.
La existencia de vetas de cobre nativo o de alta pureza facilitó el acceso al novedoso elemento metálico por parte de civilizaciones que florecían en el pasado remoto en Asia y en torno al Mediterráneo. Sus habitantes utilizaron este nuevo material para fabricar herramientas y ornamentos.
El objeto de cobre más antiguo encontrado por los arqueólogos apareció en el norte del territorio del actual Irak. Es un pendiente fabricado hacia el año 8,700 A.C.
Todo parece indicar que la minería del cobre pudo desarrollarse entre civilizaciones avanzadas algunos milenios antes de Cristo, como las de los sumerios y de los egipcios, que fueron cunas del conocimiento.
Posteriormente su uso se expandió al mundo antiguo, incluidas las civilizaciones helénica y romana.
Con el tiempo el cobre adquirió un gran peso específico sobre el desarrollo de la humanidad, pues su uso en combinación con el estaño permitió crear una aleación que fue determinante para la civilización, conocida en el estudio de la historia como Edad del Bronce.
En el antiguo Egipto de los jeroglíficos el cobre fue asociado al símbolo de Ankh, que también tenía otro significado: vida eterna.

En algún momento de la antigüedad la minería del cobre tuvo como escenario importante a Chipre, donde fueron descubiertos importantes yacimientos de este metal. Para los romanos ese territorio era conocido como Cyprium, y de allí proviene la palabra en latín cuprum, que a su vez da origen al nombre en español, cobre.
El uso del cobre a través del tiempo está registrado en numerosos objetos y testimonios. Fue utilizado para uno de los famosos rollos del Mar Muerto, para sistemas de plomería en las pirámides egipcias, para reforzar barcos como los que usó Cristóbal Colón.
En América, entretanto, civilizaciones como las de los aztecas y los incas también utilizaban este metal rojizo. Y en la zona andina quedó registrado el desarrollo de una metalurgia que incluyó el manejo de aleaciones.
Durante el siglo XIX, en plena Revolución Industrial y ante el inicio de una seguidilla de inventos relacionados con la electricidad y las telecomunicaciones, la demanda por cobre aumentó en forma vertiginosa. Se había descubierto una de sus propiedades esenciales: la conductividad. A comienzos del siglo XX la demanda mundial de cobre rondaba el medio millón de toneladas, pero la mayor parte de los yacimientos en forma de vetas que permitían acceder a un mineral de alta pureza ya habían sido explotados.
Sin embargo, el desarrollo y perfeccionamiento de tecnologías permitieron obtener el cobre incluso cuando se encontraba asociado a otros elementos en concentraciones muy bajas. Esos adelantos permitieron el surgimiento de la minería del cobre, que cada año incorpora nuevos avances para lograr una producción más eficiente y sustentable.
El extraordinario avance tecnológico de las últimas décadas implica un uso mucho más intensivo del cobre en nuestras vidas. Así, la historia de este metal y su influencia en la civilización aún no termina de escribirse.
En el futuro el cobre aparece como un elemento esencial. Su uso está vinculado al desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación, o al consumo más eficiente de energía que es fundamental para el cuidado del ambiente de este planeta.
En este contexto se entiende la importancia que ha tenido y que mantiene el cobre en la actualidad, utilizado como principalmente como conductor eléctrico en prácticamente cualquier dispositivo o sistema eléctrico y/o electrónico. Así mismo, la producción de cobre a partir de minerales de este material es de suma importancia para el avance de la humanidad.
A continuación se detallaran cada uno de los procesos por los que atraviesan los minerales de cobre para ser purificados y utilizados en las actividades humanas ya mencionadas.

3. Exploración Minera

La base de cualquier trabajo bien hecho es la planificación de las actividades a realizar. Esto es especialmente importante en la investigación minera. Así, en Investigación Minera se suele subdividir el trabajo en tres etapas claramente diferenciadas, de forma que solamente se aborda la siguiente en caso de que la anterior haya cumplido satisfactoriamente los objetivos previstos. Aunque pueden recibir distintos nombres, en términos generales se trata de: una fase de pre-exploración, una de exploración propiamente dicha y otra de evaluación. Si incluso ésta última alcanza los resultados previstos se realiza un estudio de viabilidad económica. Como objetivos generales de cada una de estas etapas se pueden fijar los siguientes:

3.1. Pre-exploración:

Tiene por objeto determinar si una zona concreta, normalmente de gran extensión, presenta posibilidades de que exista un tipo determinado de yacimiento mineral. Esto se establece en función de la información de que disponemos sobre ese tipo de yacimiento y sobre la geología de la región de estudio. Suele ser un trabajo fundamentalmente de gabinete, en el que se cuenta con el apoyo de información bibliográfica, mapas, fotos aéreas, imágenes de satélite, etc., aunque puede incluir alguna salida al campo para reconocer las zonas de mayor interés.

3.2. Exploración:

Una vez establecidas las posibilidades de la región estudiada, se pasa al estudio sobre el terreno. En esta fase se aplican las diversas técnicas disponibles para llevar a cabo de forma lo más completo posible el trabajo, dentro de las posibilidades presupuestarias del mismo. Su objeto final debe ser corroborar o descartar la hipótesis inicial de existencia de mineralizaciones del tipo prospectado.

3.3. Evaluación:

Una vez que se ha detectado una mineralización de interés minero, es decir, en la que se observan caracteres que permiten suponer que pueda llegar a ser explotada, se pasa a llevar a cabo su evaluación o valoración económica. A pesar de lo que pueda parecer, los datos de ésta no son aún concluyentes, y debe ir seguida, en caso de que la valoración económica sea positiva, de un estudio de viabilidad, que contemple todos los factores geológicos, mineros, sociales, ambientales, etc., que pueden permitir (o no) que una explotación se lleve a cabo.

4. Extracción

Aunque el tipo de mina de cobre a construir está determinada por el tipo de minerales que se encuen-

tren en el suelo, siendo mas factible trabajar en una mina a cielo abierto cuando el mineral a extraer es principalmente oxidado o trabajar en una mina subterranea cuando el mineral a extraer es principalmente sulfurado, estos siguen procesos iguales al momento de su extracción.
La extracción es el proceso por el cual se retira el material desde el macizo rocoso que forma el yacimiento. Esta etapa comprende tres importantes subprocesos:

4.1. Perforación:

Una vez elegido la zona a explotar y utilizando una perforadora, se taladra la roca y se deposita el material explosivo en la cavidad generada.

4.2. Tronadura:

Corresponde al proceso durante el cual se hace explotar el explosivo depositado en la etapa anterior y se logra separar el material a extraer del resto del macizo Rocoso.

4.3. Carguío:

El material dinamitado es sacado de la zona de explotación utilizando una pala y cargado en el sistema de transporte de la faena como camiones de gran tonelaje para el caso de minería a cielo abierto. Conjuntamente, el material cargado debe ser transportado al lugar de destino correspondiente. Puede ser a la etapa de chancado, en el caso del mineral sobre ley de corte, a botaderos de lixiviación, en caso de sulfuros de baja ley, o a botaderos en caso de ser considerado material estéril. Una última variante se genera al transportar el mineral hacia stocks temporales, cuando alguna situación operacional lo amerita.

5. Chancado

Independiente de su naturaleza (óxidos o sulfuros), cuando el mineral es procesable de forma rentable, el primer procesamiento corresponde al Chancado.
El mineral proveniente de la mina presenta una granulometría variada, desde partículas de menos de 1 mm hasta fragmentos mayores que 1 m de diámetro, por lo que el objetivo del chancado es reducir el tamaño de los fragmentos mayores hasta obtener un tamaño uniforme máximo de 1/2 pulgada ($1,27cm$).
Para lograr el tamaño deseado de 1/2 pulgada, en el proceso del chancado se utiliza la combinación de tres equipos en línea que van reduciendo el tamaño de los fragmentos en etapas, las que se conocen como etapa primaria, etapa secundaria y terciaria.

- En la etapa primaria, el chancador primario reduce el tamaño máximo de los fragmentos a 8 pulgadas de diámetro.
- En la etapa secundaria, el tamaño del material se reduce a 3 pulgadas.
- En la etapa terciaria, el material mineralizado logra llegar finalmente a 1/2 pulgada.

Los chancadores son equipos eléctricos de grandes dimensiones. En estos equipos, los elementos que trituran la roca mediante movimientos vibratorios están construidos de una aleación especial de acero de alta resistencia. Los chancadores son alimentados por la parte superior y descargan el mineral chancado por su parte inferior a través de una abertura graduada de acuerdo al diámetro requerido. Todo el manejo del mineral en la planta se realiza mediante correas transportadoras, desde la alimentación proveniente de la mina hasta la entrega del mineral chancado a la etapa siguiente.
El chancador primario es el de mayor tamaño ($54'$ x $74'$, es decir $16,5$ m de ancho por $22,5$ m de alto). En algunas plantas de operaciones, este chancador se ubica en el interior de la mina (cerca de donde se extrae el mineral) como es el caso de la División Andina.

Luego del chancado de los minerales, se obtienen dos tipos de minerales triturados: los óxidos y los sulfuros. A partir de aquí el proceso de obtención del cobre dependerá del tipo de mineral a purificar. El proceso a seguir cuando se tiene minerales de cobre sulfurados, cuya ubicación es en la profundidad de la tierra, se denomina pirometalurgia, y es mediante este tratamiento que se obtiene alrededor del 80 % de la producción mundial de cobre. El proceso a seguir cuando se tiene minerales de cobre del tipo óxidos, cuya ubicación es próxima a la superficie terrestre, se denomina hidrometalurgia, y corresponde a la obtención del 20 % restante de la producción mundial de cobre.

6. Pirometalurgia

En el proceso pirometalúrgico se acostumbran a procesar sulfuros minerales previamente concentrados, por flotación o biolixiviación, y consta de seis etapas claramente diferenciadas:

6.1. Molienda

Mediante la molienda, se continúa reduciendo el tamaño de las partículas que componen el mineral, para obtener una granulometría máxima de 180 micrones (0,18mm), la que permite finalmente la liberación de la mayor parte de los minerales de cobre en forma de partículas individuales.
El proceso de la molienda se realiza utilizando grandes equipos giratorios o molinos de forma cilíndrica,

en dos formas diferentes: molienda convencional o molienda SAG. En esta etapa, al material mineralizado se le agregan agua en cantidades suficientes para formar un fluido lechoso y los reactivos necesarios para realizar el proceso siguiente que es la flotación.

6.2. Flotación

La flotación es un proceso físico-químico que permite la separación de los minerales sulfurados de cobre y otros elementos como el molibdeno, del resto de los minerales que componen la mayor parte de la roca original.
Se lo realiza con la pulpa proveniente de la molienda, que tiene ya incorporados los reactivos necesarios para la flotación, se introduce en unos receptáculos como piscinas, llamados celdas de flotación. Desde el fondo de las celdas, se hace burbujear aire y se mantiene la mezcla en constante agitación para que el proceso sea intensivo. Los reactivos que se incorporan en la molienda tienen diferentes naturalezas y cumplen diferentes funciones:

- Reactivos espumantes: tienen como objetivo el producir burbujas resistentes.
- Reactivos colectores: tienen la misión de impregnar las partículas de sulfuros de cobre y de molibdeno para que se separen del agua (efecto hidrófobo) y se peguen en las burbujas.
- Reactivos depresantes: destinados a provocar el efecto inverso al de los reactivos colectores para evitar la recolección de otros minerales como la pirita, que es un sulfuro que no tiene cobre. Otros aditivos

como la cal sirven para estabilizar la acidez de la mezcla en un valor de pH determinado, proporcionando el ambiente adecuado para que ocurra todo el proceso de flotación. Las burbujas arrastran consigo los minerales sulfurados hacia la superficie, donde rebasan por el borde de la celda hacia canaletas que las conducen hacia estanques especiales, desde donde esta pulpa es enviada a la siguiente etapa. El proceso es reiterado en varios ciclos, de manera que cada ciclo va produciendo un producto cada vez más concentrado. En uno de estos ciclos, se realiza un proceso especial de flotación para recuperar el molibdeno, cuyo concentrado alcanza una ley de 49 % de molibdenita (MoS_2).
Como se resultado se tiene que luego de varios ciclos en que las burbujas rebasan el borde de las celdas, se obtiene el concentrado, en el cual el contenido de cobre ha sido aumentado desde valores del orden del 1 % (originales en la roca) a un valor de hasta 31 % de cobre total.
El concentrado final es secado mediante filtros y llevado al proceso de fundición.

6.3. Fusión

El concentrado del mineral de cobre, en su mayor parte calcopirita ($CuFeS_2$), se inyecta finamente dividido junto con oxígeno gas en un horno tipo flash. La calcopirita se usa como combustible y pierde parte del azufre que contiene. Finalmente se introduce en un horno de cuarzo triturado para formar una escoria fusible. Se llegan a temperaturas de unos 1250^oC, donde se puede separar la mata líquida, insoluble en la escoria también liquida, y se separan. Esta mata líquida contiene de un 50 % a 60 % de cobre.

6.4. Conversión

La mata líquida es transferida a un convertidor y se inyecta oxigeno junto con la carga liquida. Se llegan a temperaturas de 1200^oC a 1250^oC para convertir la mata en Cu_2S (metal blanco).

6.5. Refinación

Obtención de cobre anódico. El cobre blíster de la etapa anterior queda fuertemente oxidado con contenidos de oxigeno de 0,5 % a 0,8 %. Este oxigeno se eliminará mediante la transferencia con gas propano a otro convertidor. El propano se quema junto al oxigeno y se obtiene un cobre del 99 % de pureza con un contenido en oxigeno inferior al 0,1 %, apto para ser vertido en molde.

6.6. Electro-refinación

Obtención del cobre catódico (99,99 % cobre). El refinado electrolítico del cobre se realiza para obtener los niveles de pureza del 99,99 % exigido para muchas de sus aplicaciones, así como la recuperación de pequeñas cantidades de metales preciosos contenidos como impurezas en el cobre. En el refinado electrolítico , el cobre del 99 % ha sido moldeado como ánodos y se coloca de forma alternativa junto a cátodos de acero inoxidable. Se produce la electrolización a bajos potenciales (0,25 V), con lo cual el consumo energético en esta parte del proceso es relativamente bajo.

7. Hidrometalurgia

Las materias primas utilizadas en el procesamiento del cobre por hidrometalurgia son minerales oxidados. Los minerales oxidados de cobre se originan en la descomposición y oxidación de los minerales sulfurados. Fueron los primeros minerales explotados. Los principales minerales oxidados son:

- Malaquita $Cu_2CO_3(OH)_2$
- Azurita $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$
- Crisocola $(CuAl)_4H_4(OH)_8Si_4O_{10}H_2O$

- Cuprita Cu_2O
- Brochantita $Cu_4SO_4(OH)_6$

El proceso hidrometalúrgico de extracción del cobre a partir de minerales oxidados se realiza mediante tres etapas consecutivas:

7.1. Lixiviación

Tiene por objetivo la obtención del cobre de los minerales oxidados que lo contienen, aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua. Este proceso se basa en que los minerales oxidados son sensibles al ataque de disoluciones ácidas. Se realiza mediante el "heap leaching" (lixiviación en pilas), consistente en el apilamiento de grandes cantidades de minerales que se riegan con disoluciones diluidas de ácido sulfúrico formando una disolución de sulfato de cobre ($CuSO_4$). Estas pilas se realizan encima de superficies previamente impermeabilizadas y preparadas para recoger todo el líquido procedente de la lixiviación, que contienen óxidos de cobre así como sulfuros. Este proceso se alarga durante meses o incluso años hasta que se agota el cobre de la pila de material. De la lixiviación se obtienen disoluciones de sulfato de cobre con concentraciones de hasta 9 g/l de cobre.

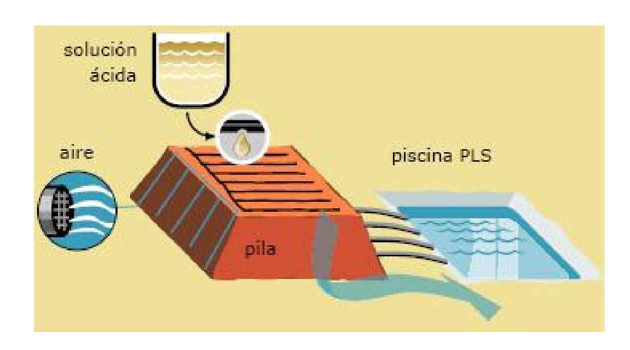


Figura 1: Proceso de lixiviación

7.2. Purificación/Concentración

Las disoluciones obtenidas en la etapa anterior de lixiviación no contienen suficiente cobre, por lo que se extrae este cobre con disolventes orgánicos para separarlo de otras impurezas. A posteriori se extrae una disolución concentrada de cobre de estos disolventes. Mediante la extracción con disolventes se obtienen disoluciones de sulfato de cobre con concentraciones de hasta 45 g/l de cobre.

7.3. Electrólisis

La disolución resultante en la etapa anterior de purificación/concentración se electroliza en grandes plantas con cátodos de acero inoxidable y ánodos inertes de plomo-antimonio. Finalizada la electrólisis se extrae cobre sólido del 99,99 % de pureza. Esta última electrólisis tiene elevado coste energético.

8. Aleaciones de Cobre

8.1. Latón (Cu-Zn)

El latón, también conocido como cuzin, es una aleación de cobre, zinc (Zn) y, en menor proporción, otros metales. Se obtiene mediante la fusión de sus componentes en un crisol o mediante la fusión y reducción de menas sulfurosas en un horno de reverbero o de cubilote. En los latones industriales el porcentaje de Zn se mantiene siempre inferior a 50 %. Su composición influye en las características mecánicas, la fusibilidad y la capacidad de conformación por fundición, forja y mecanizado. En frío, los lingotes obtenidos se deforman plásticamente produciendo láminas de diferentes espesores, varillas o se cortan en tiras susceptibles de estirarse para fabricar alambres. Su densidad depende de su composición y generalmente ronda entre $8,4\ g/cm^3$ y $8,7\ g/cm^3$.
Las características de los latones dependen de la proporción de elementos que intervengan en la aleación de tal forma que algunos tipos de latón son maleables únicamente en frío, otros exclusivamente en caliente, y algunos no lo son a ninguna temperatura. Todos los tipos de esta aleación se vuelven quebradizos cuando se calientan a una temperatura próxima al punto de fusión. El latón es más duro que el cobre, pero fácil de mecanizar, grabar y fundir, es resistente a la oxidación, a las condiciones salinas y es dúctil, por lo que puede laminarse en planchas finas. Su maleabilidad varía según la composición y la temperatura, y es distinta si se mezcla con otros metales, incluso en cantidades mínimas.
Una pequeña aportación de plomo en la composición del latón mejora la maquinabilidad porque facilita la fragmentación de las virutas en el mecanizado. El plomo también tiene un efecto lubricante por su bajo punto de fusión, lo que permite ralentizar el desgaste de la herramienta de corte.
El latón admite pocos tratamientos térmicos y únicamente se realizan recocidos de homogenización y re-cristalización. El latón tiene un color amarillo brillante, con gran parecido al oro y por eso se utiliza mucho en joyería conocida como bisutería, y elementos decorativos. Otras aplicaciones de los latones abarcan los campos más diversos, desde el armamento, calderería, soldadura, fabricación de alambres, tubos de condensador y terminales eléctricos. Como no es atacado por el agua salada, se usa también en las construcciones de barcos y en equipos pesqueros y marinos.
El latón no produce chispas por impacto mecánico, una propiedad atípica en las aleaciones. Esta característica convierte al latón en un material importante en la fabricación de envases para la manipulación de compuestos inflamables.

8.2. Bronce (Cu-Sn)

Las aleaciones en cuya composición predominan el cobre y el estaño (Sn) se conocen con el nombre de bronce y son conocidas desde la antigüedad. Hay muchos tipos de bronces que contienen además otros elementos como aluminio, berilio, cromo o silicio. El porcentaje de estaño en estas aleaciones está comprendido entre el 2 % y el 22 %. Son de color amarillento y las piezas fundidas de bronce son de mejor calidad que las de latón, pero son más difíciles de mecanizar y más caras.
La tecnología metalúrgica de la fabricación de bronce es uno de los hitos más importantes de la historia de la humanidad pues dio origen a la llamada Edad de Bronce. El bronce fue la primera aleación fabricada voluntariamente por el ser humano: se realizaba mezclando el mineral de cobre (calcopirita, malaquita, etc.) y el de estaño (casiterita) en un horno alimentado con carbón vegetal. El anhídrido carbónico resultante de la combustión del carbón, reducía los minerales de cobre y estaño a metales. El cobre y el estaño que se fundían, se aleaban entre un 5 % y un 10 % en peso de estaño.
El bronce se emplea especialmente en aleaciones conductoras del calor, en baterías eléctricas y en la fabricación de válvulas, tuberías y uniones de fontanería. Algunas aleaciones de bronce se usan en uniones deslizantes, como cojinetes y descansos, discos de fricción; y otras aplicaciones donde se requiere alta resistencia a la corrosión como rodetes de turbinas o válvulas de bombas, entre otros elementos de máquinas. En algunas aplicaciones eléctricas es utilizado en resortes.

8.3. Alpaca (Cu-Ni-Zn)

Las alpacas o platas alemanas son aleaciones de cobre, níquel (Ni) y cinc (Zn). en una proporción de 50 % a 70 % de cobre, 13 % a 25 % de níquel, y del 13 % al 25 % de zinc. Sus propiedades varían de forma continua en función de la proporción de estos elementos en su composición, pasando de un máximo de dureza a mínimos de conductividad Estas aleaciones tienen la propiedad de rechazar los organismos marinos (antifouling). Si a estas aleaciones de cobre-níquel-cinc, se les añaden pequeñas cantidades de aluminio o hierro, constituyen aleaciones que se caracterizan por su resistencia a la corrosión marina, por lo que se utilizan ampliamente en la construcción naval, principalmente en los condensadores y tuberías, así como en la fabricación de monedas y de resistencias eléctricas.
Con las aleaciones de cobre-níquel-cinc se consigue una buena resistencia a la corrosión y buenas cualidades mecánicas. Por esas propiedades se utilizan principalmente para la fabricación de material de telecomunicaciones, piezas para instrumentos, artículos de grifería y accesorios de tubería de buena calidad, en la industria eléctrica, para artículos de ferretería y de ornamentación y artículos utilizados en la fabricación de construcciones metálicas, así como para diversos aparatos de las industrias químicas y alimentarias. Algunas calidades de alpaca se utilizan también para fabricar vajillas y artículos de orfebrería de mesa, etc.
El monel es una aleación que se obtiene directamente de los minerales canadienses, y tiene una composición de $Cu = 28 - 30\,\%$, $Ni = 66 - 67\,\%$, $Fe = 3 - 3,5\,\%$. Este material tiene una gran resistencia a los agentes corrosivos y a las altas temperaturas.
El platinoide es un metal blanco compuesto de 60 % de cobre, 14 % de níquel, 24 % de zinc y de $1 - 2\,\%$ de tungsteno.

Otras aleaciones

Otras aleaciones de cobre con aplicaciones técnicas son las siguientes:

- Cobre-cadmio ($Cu - Cd$): son aleaciones de cobre con un pequeño porcentaje de cadmio y tienen con mayor resistencia que el cobre puro. Se utilizan en líneas eléctricas aéreas sometidas a fuertes solicitaciones mecánicas como catenarias y cables de contacto para tranvías.

- Cobre-cromo ($Cu - Cr$) y Cobre-cromo-circonio ($Cu - Cr - Zr$): tienen una alta conductividad eléctrica y térmica. Se utilizan en electrodos de soldadura por resistencia, barras de colectores, contactores de potencia, equipos siderúrgicos y resortes conductores.

- Cobre-hierro-fósforo ($Cu - Fe - P$). Para la fabricación de elementos que requieran una buena conductividad eléctrica y buenas propiedades térmicas y mecánicas se añaden al cobre partículas de hierro y fósforo. Estas aleaciones se utilizan en circuitos integrados porque tienen una buena conductividad eléctrica, buenas propiedades mecánicas y tienen una alta resistencia a la temperatura.

- Cobre-aluminio ($Cu - Al$): también conocidas como bronces al aluminio, contienen al menos un 10 % de aluminio. Estas aleaciones son muy parecidas al oro y muy apreciadas para trabajos artísticos. Tienen buenas propiedades mecánicas y una elevada resistencia a la corrosión. Se utilizan también para los trenes de aterrizaje de los aviones , en ciertas construcciones mecánicas.

- Cobre-berilio ($Cu - Be$): es una aleación constituida esencialmente por cobre. Esta aleación tiene importantes propiedades mecánicas y gran resistencia a la corrosión. Se utiliza para fabricar muelles, moldes para plásticos, electrodos para soldar por resistencia y herramientas antideflagrantes. Cobre-plata ($Cu - Ag$) o cobre a la plata: es una aleación débil por sus altos componentes de cobre,

que se caracteriza por una alta dureza que le permite soportar temperaturas de hasta 226^oC, manteniendo la conductividad eléctrica del cobre.

Algunas aleaciones de cobre tienen pequeños porcentajes de azufre y de plomo que mejoran la maquinabilidad de la aleación. Tanto el plomo como el azufre tienen muy baja solubilidad en el cobre, separándose respectivamente como plomo (Pb) y como sulfuro cuproso (Cu_2S) en los bordes de grano y facilitando la rotura de las virutas en los procesos de mecanizado, mejorando la maquinabilidad de la aleación.

9. Países exportadores de cobre

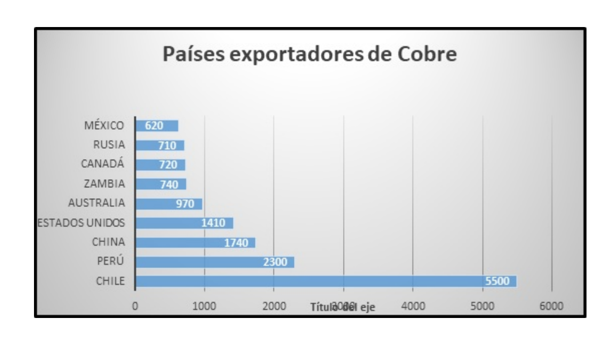


Figura 2: Países exportadores de cobre

En Chile, las exportaciones de cobre chileno a Europa son encabezadas por Italia (con un 4,2 %) y Holanda (3,2 %). Francia, que también pareciera mostrar estabilidad, llega al 2,5 % de participación en las exportaciones nacionales del metal rojo y España, uno de los países afectados por la crisis, llega al 1,6 %, mientras que Bélgica asciende un 1,9 %. Los grandes sostenedores y compradores del mineral chileno son los países asiáticos, que representan en conjunto un 62 % de las exportaciones nacionales. China por sí sola representa más de un tercio (32,6 %) del total de las ventas de cobre al exterior, Japón otro 12,4 %, Corea del Sur 6,9 % y Taiwán 3,7 %. En cuanto a América, representa el 13 % de las exportaciones del metal rojo, donde Brasil (5,6 %) importa más que Estados Unidos (4,0 %). Otro importador relevante en la región es México con un 1,8 %.

En Ecuador, Imbabura emerge como una de las nuevas zonas de interés minero metálico del país. En la provincia, cinco áreas se han otorgado en concesión, otras cinco están inscritas y 33 están en trámite. Las cifras son del Ministerio de Minería.
La Empresa Nacional Minera del Ecuador (Enami) en alianza con la Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco) desarrolla el proyecto Llurimagua, en el valle de Íntag. Se estima que en la zona hay cobre y molibdeno. En el valle de Íntag existen alrededor de 94473 hectáreas entregadas en concesión, inscritas o en trámite, dicha cantidad abarca el 90 % del territorio de Íntag.

El consumo masivo de cobre ha creado enormes problemas sociales y ambientales alrededor del mundo, además de desplazar a comunidades enteras y ha generado conflictos violentos en comunidades que se oponen a la minería. Dicho consumo se debe a los principales usos del cobre que son: Transmisión de energía: 65 %, Construcción: 25 %, Transporte 7 %, Otros: 3 %.

10. Conclusión

El cobre es uno de los metales más utilizados en la industria tecnológica, desde hace miles de años, este material se obtiene a partir de minerales que se encuentran en la tierra, los cuales deben ser purificados para obtener el cobre puro. El principal exportador de cobre en el mundo es Chile, este país cuenta con aproximadamente el 20 % de las reservas de cobre del mundo y es el principal distribuidor a países europeos.

Referencias

[1] Rojas Cornejo, M.(2009). *Descripción cuantitativa de los procesos de extracción y reducción de mineral en la minería de cobre a cielo abierto.* 1^a ed. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Available at: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/cf-rojas_mc/pdfAmont/cf-rojas_mc.pdf [Accessed 30 Oct. 2017].

[2] Higueras Higueras, P. and Oyarzun Muñoz, R. .(2016). *14.- Exploración Minera.* [online] Previa.uclm.es. Available at: https://previa.uclm.es/users/higueras/yymm/ym14.html#T14Metodol [Accessed 30 Oct. 2017].

[3] Codelco.(2011). *Historia del cobre.* [online] Available at: https://www.codelco.com/historia-del-cobre/prontus_codelco/2011-06-03/222414.html [Accessed 30 Oct. 2017].

[4] Codelco.(2011). *Procesos productivos.* [online] Available at: https://www.codelco.com/procesos-productivos/prontus_codelco/2011-06-03/221622.html [Accessed 30 Oct. 2017].

[5] Aguilar Schafer, J.(2008). *Metalurgia extractiva del cobre.* 1^a ed. [ebook] Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa. Available at: http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz

/curzoz/8_procesos_cobre.pdf [Accessed 30 Oct. 2017].

[6] Juan Carlos Torres P.(2005). *Cobre, medio ambiente y salud Aportes de la ciencia.* Instituto de innovación en minería y metalurgia N^o 2; Santiago de Chile.

[7] María Cristina Betancour,(2013). *Minería en Chile: impacto en regiones y desafíos para su desarrollo.* Yankovic.net, Ministerio de minería de Chile, Santiago de Chile.